



**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Кафедра кібербезпеки та програмного забезпечення



СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВБУДОВАНЕ МАШИННЕ НАВЧАННЯ ТА TINYMML ДЛЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

Другого рівня вищої освіти

м. Кропивницький

1. Загальна інформація

Назва дисципліни	Вбудоване машинне навчання та TinyML для мікроконтролерів
Викладач	Лектор – Мелешко Єлизавета Владиславівна, доктор технічних наук, професор, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Центральноукраїнського національного технічного університету
Контактний телефон	службовий: (0522)390-449 – робочі дні з 8 ³⁰ до 14 ²⁰
E-mail:	meleshkoynv@kntu.kr.ua
Консультації	<i>Очні консультації</i> відповідно до затвердженого графіку консультацій <i>Онлайн консультації</i> засобами електронної пошти, месенджерів у робочі дні

2. Анотація дисципліни

Курс «Вбудоване машинне навчання та TinyML для мікроконтролерів» спрямований на вивчення принципів, методів і практичних підходів до реалізації алгоритмів машинного навчання на ресурсно-обмежених вбудованих платформах. Курс розглядає повний цикл розробки TinyML-рішень: від збору та підготовки даних до оптимізації, розгортання й експлуатації моделей машинного навчання безпосередньо на мікроконтролерах. Вивчення дисципліни орієнтоване на формування у здобувачів здатності проєктувати інтелектуальні вбудовані системи для задач Інтернету речей, кіберфізичних систем, промислової автоматизації та автономних пристроїв. Лекційні та лабораторні заняття поєднують теоретичні основи машинного навчання з практичними аспектами роботи з сучасними TinyML-фреймворками та апаратними платформами.

3. Мета і завдання дисципліни

Метою викладання дисципліни «Вбудоване машинне навчання та TinyML для мікроконтролерів» є формування у здобувачів вищої освіти системних теоретичних знань і практичних навичок розроблення, оптимізації та впровадження алгоритмів машинного навчання на мікроконтролерних платформах з обмеженими обчислювальними ресурсами, пам'яттю та енергоспоживанням.

Основними завданнями вивчення дисципліни є ознайомлення з концепціями вбудованого машинного навчання та підходами TinyML; вивчення архітектур мікроконтролерів і їхніх апаратних обмежень у контексті виконання ML-алгоритмів; формування навичок підготовки даних та навчання компактних моделей машинного навчання для вбудованих систем; опанування методів оптимізації моделей (квантизація, pruning, model compression) для розгортання на мікроконтролерах; набуття практичного досвіду інтеграції ML-моделей із сенсорами та периферійними пристроями; ознайомлення з сучасними інструментами та фреймворками TinyML і засобами їх використання у вбудованих системах.

4. Результати навчання

У результаті вивчення дисципліни здобувач вищої освіти повинен вміти:

- аналізувати апаратні обмеження мікроконтролерних платформ та обґрунтовувати вибір методів і моделей машинного навчання для вбудованих систем;
- розробляти та адаптувати моделі машинного навчання для виконання на ресурсно-обмежених пристроях з урахуванням вимог до продуктивності, енергоспоживання та обсягу пам'яті;
- застосовувати методи оптимізації моделей машинного навчання (квантизація, стиснення, спрощення архітектур) для розгортання у середовищі TinyML;
- інтегрувати вбудовані ML-рішення з сенсорними модулями та периферійними пристроями мікроконтролерних систем;
- оцінювати якість, надійність і ефективність роботи вбудованих систем машинного навчання в умовах реальної експлуатації.

5. Обсяг дисципліни

Ознака дисципліни	
Кількість кредитів / годин	4/120
Нормативна / вибіркова	вибіркова
Вид підсумкового контролю	залік

6. Політика дисципліни

Академічна доброчесність:

Очікується, що студенти будуть дотримуватися принципів академічної доброчесності, усвідомлювати наслідки її порушення. Детальніше за посиланням URL : <http://www.kntu.kr.ua/doc/dobro.pdf>

Відвідування занять

Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають лекції і лабораторні заняття курсу.

Пропущені заняття повинні бути відпрацьовані не пізніше, ніж за тиждень до залікової сесії.

Поведінка на заняттях

Недопустимість: запізнь на заняття, списування та плагіат, несвоєчасне виконання поставленого завдання.

При організації освітнього процесу в Центральнотехнічному національному технічному університеті студенти, викладачі та адміністрація діють відповідно до: Положення про організацію освітнього процесу; Положення про організацію вивчення навчальних дисциплін вільного вибору; Положення про рубіжний контроль успішності і сесійну атестацію студентів ЦНТУ, Кодексу академічної доброчесності ЦНТУ.

7. Програма навчальної дисципліни

Тема 1. Архітектура TinyML-систем для мікроконтролерів

Поняття TinyML та відмінності від класичного машинного навчання. Типова архітектура TinyML-рішення: сенсори, мікроконтролер, модель, актуатори.

Тема 2. Апаратні обмеження мікроконтролерів у задачах машинного навчання

Обмеження оперативної пам'яті, Flash-пам'яті та обчислювальної потужності. Вплив архітектури мікроконтролера на вибір ML-моделі.

Тема 3. Збір та попередня обробка сенсорних даних для TinyML

Отримання даних із вбудованих сенсорів у реальному часі. Фільтрація, нормалізація та підготовка даних для навчання моделей.

Тема 4. Побудова та навчання компактних ML-моделей для вбудованих систем

Вибір типу моделі для задач класифікації та регресії. Навчання моделей з урахуванням апаратних обмежень.

Тема 5. Оптимізація моделей машинного навчання для виконання на мікроконтролерах

Квантизація параметрів моделі. Зменшення розміру та складності моделей без критичної втрати точності.

Тема 6. Інтеграція TinyML-моделі у прошивку мікроконтролера

Перенесення навченої моделі у вбудовану систему. Організація інференсу в реальному часі.

Тема 7. Реалізація керуючих і реактивних систем на основі TinyML

Прийняття рішень на основі результатів інференсу. Керування виконавчими пристроями (індикатори, реле, двигуни).

Тема 8. Оцінювання продуктивності та енергоефективності TinyML-рішень

Вимірювання часу інференсу та використання пам'яті. Аналіз енергоспоживання вбудованих ML-систем.

8. Система оцінювання та вимоги

Види контролю: поточний, підсумковий.

Методи контролю: спостереження за навчальною діяльністю, усне опитування, письмовий контроль, тестовий контроль.

Форма підсумкового контролю: залік.

Поточний контроль знань здобувачів вищої освіти здійснюється шляхом оцінювання виконання лабораторних робіт протягом семестру. При цьому враховується коректність виконання поставлених завдань, рівень обґрунтованості та аргументованості відповідей під час захисту робіт, а також дотримання визначених строків їх подання. Важливим складником оцінювання є також рівень засвоєння теоретичного матеріалу та сформованість практичних умінь і навичок.

Підсумковий контроль проводиться у формі заліку та спрямований на перевірку ступеня опанування теоретичних положень дисципліни й здатності застосовувати набуті знання під час розв'язання практичних завдань. Водночас у межах навчального процесу передбачено виконання комплексу навчальних завдань під час лекційних і лабораторних занять, а також індивідуальних робіт, що може слугувати підставою для виставлення підсумкової оцінки понад 60 балів без обов'язкового проходження залікової процедури.

9. Рекомендована література

Базова

1. Andreas C. Müller, Sarah Guido. Introduction to Machine Learning with Python. O'Reilly Media, 2017. — 377 с.
2. Sebastian Raschka, Vahid Mirjalili. Python Machine Learning, 2 edition. Packt Publishing. — 2017. — 622 с.
3. Luis Pedro Coelho, Willi Richert. Building Machine Learning Systems with Python, 2 edition. Packt Publishing. — 2015. — 326 с.
4. Jones A. The Unsupervised Learning Workshop / A. Jones, K. Christopher, B. Johnston., 2020. — 549 с. — (Packt Publishing).
5. Pramod Singh. Deploy Machine Learning Models to Production: With Flask, Streamlit, Docker, and Kubernetes on Google Cloud Platform. Apress. — 2021. — 161 с.
6. Rokach L. Data mining with decision trees. Theory and Applications / L. Rokach, O. Maimon. — Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015. — 328 с.
7. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press. — 800 с.
8. C. Aggarwal. Neural Networks and Deep Learning A Textbook. 2023. 529 с.
9. Foster D. Generative Deep Learning: Teaching Machines to Paint, Write, Compose, and Play. O'Reilly Media, Incorporated, 2023.
10. Feature Engineering / S. Sumathi та ін. Machine Learning for Decision Sciences with Case Studies in Python. Boca Raton, 2022. С. 351–371. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003258803-7>.

Допоміжна

11. Trevor Martin. The Designer's Guide to the Cortex-M Processor Family, 3rd Edition. — Elsevier, 2022. — 650 p.
12. Cem Unsalan, Huseyin Deniz Gurhan, Mehmet Erkin Yucel. Embedded System Design with ARM Cortex-M Microcontrollers: Applications with C, C++ and MicroPython. — Springer, 2022. — 576 p.
13. Cem Unsalan, Duygun E. Barkana, H. Deniz Gurhan. Embedded Digital Control with Microcontrollers: Implementation with C and Python. Wiley. — 2021. — 364 p.
14. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи : підручник. У 2 ч. Ч. 1. Мікропроцесорні системи [Електронний ресурс] / А. О. Новацький. — Електронні текстові дані (1 файл: 43,8 Мбайт). — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. — 367 с. : ил.

Інформаційні ресурси

15. Онлайн-курси Prometheus. — URL: <https://prometheus.org.ua/>
16. Онлайн-курси Coursera. — URL: <https://www.coursera.org>
17. Академія Cisco. — URL: <https://www.netacad.com>
18. Он-лайн ресурс з інформаційних технологій. — URL: <https://dou.ua/>
19. Пошукова система. — URL: <https://www.google.com/>
20. Он-лайн ресурс перегляду відеоуроків. — URL: <https://www.youtube.com>